

## Résumé

*La culture du cocotier en zone marginale est étudiée sur une cocoteraie en Indonésie. Les conditions pédoclimatiques sont défavorables. Le stress hydrique est le principal facteur limitant. La meilleure façon d'en atténuer les effets est d'assurer aux cocotiers une bonne nutrition chlorée. Si l'irrigation d'un champ semencier est rentable, la question se pose pour de très grandes surfaces de cocotiers hybrides. La culture du cocotier peut être rentable si l'on assure une fertilisation chlorée conséquente et si on plante les cocotiers avec un interligne élargi.*

## Abstract

*A study was conducted in Indonesia of coconut growing in a marginal zone. The soil and climatic conditions were unfavourable, and water stress was the main limiting factor. The best way of limiting the effects of water stress proved to be by ensuring good chlorine nutrition. While it is cost-effective to irrigate seed gardens, the same cannot necessarily be said for large areas of hybrid coconut palms. Coconut growing can be profitable provided considerable amounts of chlorine fertilizer are applied and the palms are planted with wider than usual interrows.*

# Culture du cocotier en zone exposée au risque de sécheresse

Bonneau X.<sup>1</sup>, Subagio K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIRAD, TA 80 / 01, avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup>P.T. Multi Agritama Sejahtera, Jl. Ir. Juanda III / 11 A, Jakarta, Indonésie

Une zone est dite marginale pour une culture donnée lorsque son rendement y est significativement limité de façon permanente ou lorsqu'elle est exposée à des risques létaux de probabilité non négligeable. Il existe différents types de zones marginales en nuciculture, liés à des facteurs climatiques, pédologiques, phytosanitaires, économiques et sociaux... Nous nous intéressons ici au risque de sécheresse qui affecte de plus en plus de zones de la ceinture tropicale humide (Bonneau, 1998). La marginalité d'une zone est définie par le taux de survie des cocotiers, la régularité de la production et la quantité produite.

Quelles sont les chances pour une cocoteraie d'atteindre la fin d'un cycle économique (30 à 40 ans minimum pour des hybrides) dans un endroit donné ? Autrement dit, quel est le seuil de mortalité cumulée acceptable ? Dans les grandes plantations, on accepte en général une mortalité cumulée sur la totalité d'un cycle de 5 à 10 %. Les remplacements en première et deuxième année de plantation sont considérés comme normaux dans le cadre de la mise en place de la culture.

En outre, la régularité d'approvisionnement d'une usine est un critère essentiel dans une grande plantation qui a souvent consenti un lourd investissement dans une unité de traitement de récolte. Mieux vaut dans ce cas un rendement limité, mais relativement stable dans le temps, à un ren-

dement très fluctuant, pouvant atteindre des pics exceptionnels au point de saturer la capacité de l'usine, mais aussi des creux pendant lesquels l'usine ne tourne que faiblement ou pas du tout.

Enfin, dans les calculs de rentabilité de projet, les agronomes simulent une courbe de production des cocotiers en fonction de leur âge, compte tenu des conditions locales. Mieux les facteurs du rendement sont connus et plus ils sont stables, plus la courbe sera précise. Mais il est souvent aussi important de prévoir les fluctuations du rendement autour d'une moyenne que la moyenne elle-même.

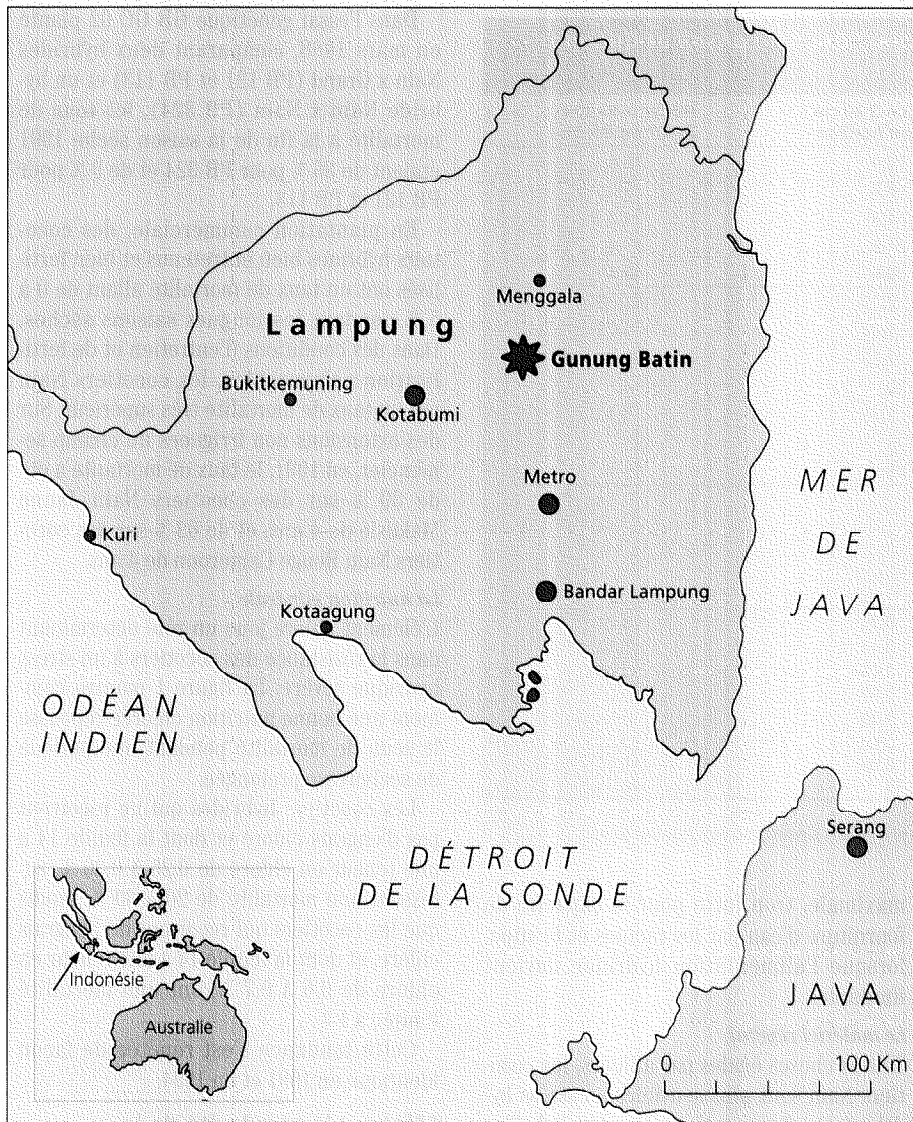
L'exemple présenté ici montre comment le risque de sécheresse a été pris en compte dans une cocoteraie de la province de Lampung, en Indonésie.

## Le site

### Situation

La cocoteraie de Gunung Batin, appartenant à la société Multi-Agro-Corporation, est située dans la région du Lampung central, à la pointe sud de l'île de Sumatra (carte). Éloignée de 75 km de la côte de la mer de Java, la plantation ne bénéficie donc pas d'apports de chlore par les embruns. L'altitude moyenne est d'environ 30 mètres au-dessus du niveau de la mer. C'est une pénéplaine entrecoupée de rivières permanentes et de ruisseaux temporaires coulant dans des talwegs peu pro-





Situation de la plantation de Gunung Batin à Sumatra. / Location of the Gunung Batin plantation in Sumatra.

fonds. La cocoteraie couvre une superficie de 6 000 ha, plantée principalement en hybrides Nain x Grand. Une première partie a été plantée entre 1982 et 1984, et une deuxième entre 1988 et 1990.

### Sol

Le sol est sablo-argileux, de type ferrallitique à tendance podzolique. Ses caractéristiques sont données dans le tableau 1. Un horizon très fortement induré, appelé cuirasse ou *hardpan*, apparaît à environ un mètre et s'étend sur une épaisseur d'environ trois mètres. Cet horizon empêche pratiquement toute pénétration des racines de cocotier en profondeur et bloque en saison sèche les remontées capillaires à partir d'une nappe phréatique située à une profondeur d'environ six mètres.

La réserve d'eau utile du sol est limitée à environ 100 mm par la présence de ce *hardpan*, et non rechargeable par capillarité. Ce sol est donc très sensible à la sécheresse : dès que les pluies cessent, la partie facilement utilisable de la réserve est consommée (en trois semaines environ) et l'extraction d'eau du sol devient un facteur limitant du fonctionnement des cocotiers.

### Climat

Le climat est divisé en deux saisons : une saison humide, la mousson, de novembre à avril, avec un pic entre décembre et mars, et une saison sèche, de mai à octobre. Il pleut en moyenne 2 300 mm par an, avec 570 mm (25 % du total) pendant les six mois de saison sèche (données relevées de 1988 à 1997).

Mais l'intensité de la saison sèche varie considérablement d'une année à l'autre, comme le montre le tableau 2. Certaines années, le déficit hydrique est très faible à nul, d'autres années il est très important.

Si ETP est l'évapotranspiration potentielle en millimètres, mesurée au bac de classe A, et P représente les précipitations en millimètres, mesurées au pluviomètre, on considère comme sec un mois où ETP est supérieur à P, et comme très sec un mois où ETP est supérieur à  $P + 50$ . Nous avons ainsi enregistré 6 mois secs consécutifs, dont 5 très secs, en 1991, 7 mois très secs consécutifs en 1994 et 8 mois secs consécutifs, dont 6 très secs, en 1997. Le déficit hydrique cumulé a été respectivement de 666 mm, 842 mm et 822 mm.

Le contexte pédoclimatique du site est donc très sensible au stress hydrique, avec un sol à faible réserve utile et la récurrence fréquente de longues saisons sèches.

## Effets du stress hydrique sur les cocotiers

Les symptômes du stress hydrique du cocotier ont déjà été décrits (Bonneau, 1998). La plasmolyse générale des tissus foliaires est suivie d'un dessèchement prématuré des palmes basses, d'une pliure des palmes très caractéristique au niveau du pétiole – en allant des palmes basses vers les palmes hautes –, d'une chute de noix immatures et, au stade ultime, d'une pliure du stipe à sa partie supérieure, faisant basculer ce qui reste de la couronne foliaire (photos 1 et 2).

Le stress hydrique affecte la survie des cocotiers, la régularité de la production et son niveau moyen.

### Effet sur la survie des cocotiers

Trois facteurs principaux de la survie ont été identifiés à Gunung Batin durant les longues périodes sèches.

#### L'âge

Toutes choses égales par ailleurs, l'âge le plus sensible pour les cocotiers hybrides se situe entre 4 et 6 ans, très probablement à cause d'un déséquilibre temporaire entre organes aériens et organes souterrains.

Les très jeunes hybrides ont un indice foliaire encore bas : la demande transpiratoire est faible et n'excède pas la capacité du système racinaire à fournir l'eau nécessaire.

Les hybrides adultes sont en état de fonctionnement stable : couronne foliaire de taille et de forme constante, régimes en charge constante, système racinaire étendu et surtout un stipe haut de plu-



Tableau 1. Exemple de sol à Gunung Batin. / Example of soil at Gunung Batin.

Granulométrie Texture %	Horizon 0-20 cm 0-20 cm horizon	Horizon 20-40 cm 20-40 cm horizon
Argile / clay	10,4	18,4
Limon fin / fine loam	8,8	5,5
Limon grossier / coarse loam	4,3	4,2
Sable fin / fine sand	27,9	25,4
Sable grossier / coarse sand	48,6	46,4
Matière organique / organic matter (%)	2,19	1,88
Total C (%)	1,27	1,05
Total N (%)	1,32	0,77
C/N / C:N	10	14
pH eau / water pH (1/2,5)	5,35	5,30
P total / Total P (ppm)	178	189
P Olsen / Olsen P (ppm)	48	65
<b>Complexe d'échange cationique</b> <b>Cation exchange complex</b> <b>(meq/100 gr)</b> <b>Méthode de la cobaltihexamine</b> <b>Cobaltihexamine method</b>		
Ca	0,31	0,71
Mg	0,11	0,12
K	0,05	0,05
Na	0,07	0,04
Al	0,49	0,58
H	0,04	0,05
CEC	0,93	1,51
S/T / BS (%)	49	61

CEC : Complexe d'échange cationique / Cation exchange capacity

S/T : Taux de saturation du complexe en bases échangeables / Rate of complexe saturation in exchangeable bases.

sieurs mètres pouvant faire office de régulateur des flux d'eau internes.

En revanche, la distribution des organes des hybrides en début de production est déséquilibrée : le système racinaire n'a pas encore atteint son extension maximale, le stipe vient d'émerger mais ne représente pas encore une part importante de la biomasse totale, tandis que la couronne foliaire a pris sa forme définitive et que les régimes se chargent en noix. La demande transpiratoire des organes aériens est déjà

maximale, trop forte pour la capacité de fourniture d'eau par les racines et le stipe, lorsque l'alimentation hydrique devient limitante.

#### Le matériel végétal

Toutes choses égales par ailleurs, les cocotiers Nain sont plus sensibles au stress hydrique que les cocotiers Grand et hybrides Nain x Grand. Les observations faites à Gunung Batin ont confirmé de nombreux résultats obtenus ailleurs (Rajagopal *et al.*, 1990 ; Repellin, 1994).

Dans l'essai génétique GB GC 02 planté en mars 1988, comparant deux hybrides Nain x Grand (PB 121 et PB 113) et un hybride Nain x Nain (PB 324), les taux de mortalité à la fin de la saison sèche 1991 étaient de 35 % pour PB 324 et de 0 % pour PB 121 et PB 113.

En plantation commerciale, des cocotiers hybrides bien entretenus et bien fertilisés ont un taux de mortalité allant de 0 à 5 % pendant les longues saisons sèches. Dans des conditions d'entretien et de fertilisation comparables, les cocotiers Nain ont un taux de mortalité très supérieur. Sur des extensions non irriguées du champ semencier, en 1991, le taux de mortalité a été de 30 % sur des cocotiers Nain Jaune Malaisie de 4 ans, et de 62 % sur des cocotiers Nain Rouge Cameroun de 4 ans.

#### La nutrition minérale

L'élément chlore joue un rôle déterminant dans la résistance des cocotiers à un stress hydrique sévère. La figure 1 montre comment une bonne nutrition chlorée repousse le seuil de mortalité pendant une période de sécheresse prolongée.

Les cocotiers hybrides qui ne reçoivent pas d'engrais chloré et dont la feuille 14 a une teneur en chlore de 0,25 à 0,30 %, subissent une mortalité de 20 à 30 %, tandis que les cocotiers qui reçoivent de l'engrais chloré, et dont la feuille 14 a une teneur en chlore de 0,6 à 0,7 %, ont une mortalité limitée à 1 %.

Cette tendance s'est répétée de façon identique en 1991 et en 1994.

#### Effet sur la régularité de la production

Après la mortalité, l'effet le plus dépressif du stress hydrique est la longue interruption de production pendant plusieurs mois.

Tableau 2. Intensité des saisons sèches à Gunung Batin. / Intensity of dry seasons at Gunung Batin.

Année / Year	Pluviosité / Rainfall (mm)				Déficit hydrique cumulé Cumulated water deficit (mm)
	Total annuel Annual total	Mai à octobre May to October (6 mois/months)	% du total annuel % of annual total	Juillet à septembre July to September (3 mois/months)	% du total annuel % of annual total
1987	1 923	462	24	162	8
1988	2 790	778	28	345	12
1989	2 411	655	27	318	13
1990	2 246	668	30	311	14
1991	2 034	172	8	23	1
1992	2 605	656	25	419	16
1993	2 449	927	38	380	16
1994	2 028	155	8	59	3
1995	2 543	844	33	359	14
1996	2 449	720	29	482	20
1997	1 423	141	10	21	1
1998	2 977	1 012	34	410	14





**Photo 1.** Cocotier Nain jaune Malaisie sous stress hydrique présentant une pliure des palmes basses.  
*Malayan Yellow Dwarf coconut palm suffering from water stress, with folded lower leaves.*

X. Bonneau

Lors d'une sécheresse prolongée, les jeunes noix chutent et les palmes basses se dessèchent. Lorsque les pluies reprennent, les cocotiers ont des couronnes foliaires très réduites et sans régimes. La période qui suit est utilisée à refaire une couronne et à émettre de nouvelles inflorescences, qui apparaissent plusieurs mois après la fin de la sécheresse ; il faut donc compter une année supplémentaire avant de récolter à nouveau des noix mûres. C'est ainsi qu'à Gunung Batin, après la longue sécheresse de 1994, le feuillage a mis 12 mois avant de retrouver son état stable (Mialet-Serra, communication personnelle). Il a fallu attendre 18 mois avant de récolter les premières noix.

Le chlore joue un rôle important dans la résistance des cocotiers à la défoliation pendant le stress hydrique et la vitesse de récupération après le stress. Le tableau 3 montre que la défoliation en fin de saison sèche est amortie par une bonne nutrition chlorée. Nous avons noté également, dans tous les essais de fertilisation chlorée, une reprise plus précoce de la récolte des cocotiers bien nourris en chlore, de deux à trois mois en avance par rapport aux cocotiers carencés en chlore.

Cependant, même les cocotiers bien nourris en chlore n'échappent pas à une longue période sans récolte. Cette absence de récolte pendant un an et demi environ handicape considérablement une planta-

tion agro-industrielle. La rentabilité d'un ensemble agro-industriel dépend alors de la fréquence d'incidence de longues saisons sèches. Le tableau 4 montre l'effet des longues saisons sèches sur le temps de non fonctionnement d'une unité de traitement.

Seul un calcul précis basé sur les coûts réels d'investissement et d'opération d'une unité de traitement – ici une huilerie – permettrait de préciser la fréquence maximale acceptable de longues saisons sèches. Il est clair néanmoins, en première approximation, que la fréquence d'une année sèche sur trois enregistrée pendant les années 90 est excessive, avec absence de récolte pendant la moitié du temps. Le seuil devrait se situer autour d'une année sèche sur cinq, avec une interruption maximale acceptable de 30 % du temps.

### Effet sur la production moyenne

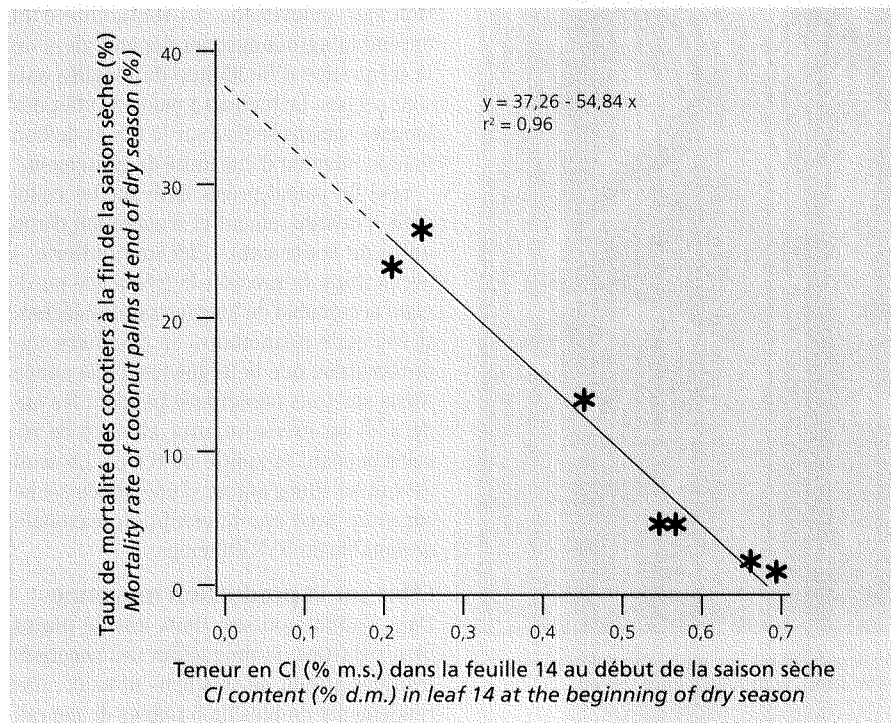
Dans l'année qui suit deux ans de pluies bien réparties, la production des cocotiers hybrides atteint de très bons niveaux : des rendements de plus de 5 tonnes de coprah par hectare et par an ont été obtenus sur les meilleures parcelles de la plantation, comme le montre la figure 2. Mais le rende-

**Photo 2.** Cocotier hybride Mawa à un stade très grave de stress hydrique : toutes les noix sont tombées, la plupart des palmes sont desséchées, il reste deux ou trois palmes vertes sur la couronne, prêtes à basculer.  
*Mawa hybrid coconut palm at a very advanced stage of water stress: all the nuts have fallen, most of the leaves have dried out, leaving just two or three green leaves in the crown, which is about to topple.*



X. Bonneau





**Figure 1.** Effet de la nutrition chlorée sur la survie des cocotiers au cours d'une longue saison sèche (essais GB CC 01 et GB CC 03, 1994). / Effect of chlorine nutrition on coconut palm survival during a long dry season (trials GB CC 01 and GB CC 03, 1994).

**Tableau 3.** Effet d'une longue saison sèche sur l'état de la couronne foliaire. / Effect of a long dry season on the condition of the leaf crown.

Traitement Treatment	Dose d'engrais NaCl (kg/arbre/an) NaCl fertilizer rate (kg/palm/year)	Teneur en Cl (% m.s.) Cl content (% DM) feuille /leaf 14 Mai /May 1991	Nombre de palmes vertes par arbre en décembre 1991 Number of green leaves per palm in December 1991
Cl 0	0	0,206	6,4
Cl 1	1,5	0,476	13,5
Cl 2	3	0,589	14,5
Cl 3	4,5	0,618	14,9

Dans son état stable, la couronne contient environ 30 palmes vertes. / In a stable state, the leaf crown contains around thirty green fronds.

**Tableau 4.** Effet de la fréquence d'incidence de longues saisons sèches sur la part de temps sans approvisionnement en noix. / Effect of the frequency of long dry seasons on the gaps in nut production.

Fréquence Frequency	Pourcentage de temps sans récolte Percentage of time without nut production
1 an sur 10 1 year in 10	15
1 an sur 5 1 year in 5	30
1 an sur 3 1 year in 3	50

ment de l'année qui suit une année très sèche est très faible, la production reprenant dans le courant de la deuxième année qui suit la sécheresse.

Le stress hydrique est donc clairement le facteur limitant principal à Gunung Batin. Le chlore a un effet positif sur toutes les composantes du rendement, l'effet étant d'autant plus fort que le stress hydrique est intense, notamment en reculant le seuil de mortalité en fin de longue saison sèche.

La figure 3 montre l'effet de la nutrition chlorée sur le rendement en moyenne lissée sur une période de huit ans comprenant une succession d'années humides et

d'années sèches. Même avec une bonne nutrition chlorée, la production plafonne à 15,5 kg de coprah par arbre et par an, bien en dessous du potentiel de l'hybride PB 121, de l'ordre de 35 à 40 kg.

## Irrigation

### Besoins du cocotier

L'irrigation d'une cocoteraie peut être prévue de deux façons :

- ou bien, une compensation totale de l'évapotranspiration de façon à maintenir les cocotiers à leur rendement maximal tout au long de l'année ;
- ou bien, une compensation partielle de l'évapotranspiration de façon à amortir les effets les plus nocifs de la sécheresse, c'est-à-dire à limiter la défoliation et assurer la survie en conditions extrêmes.

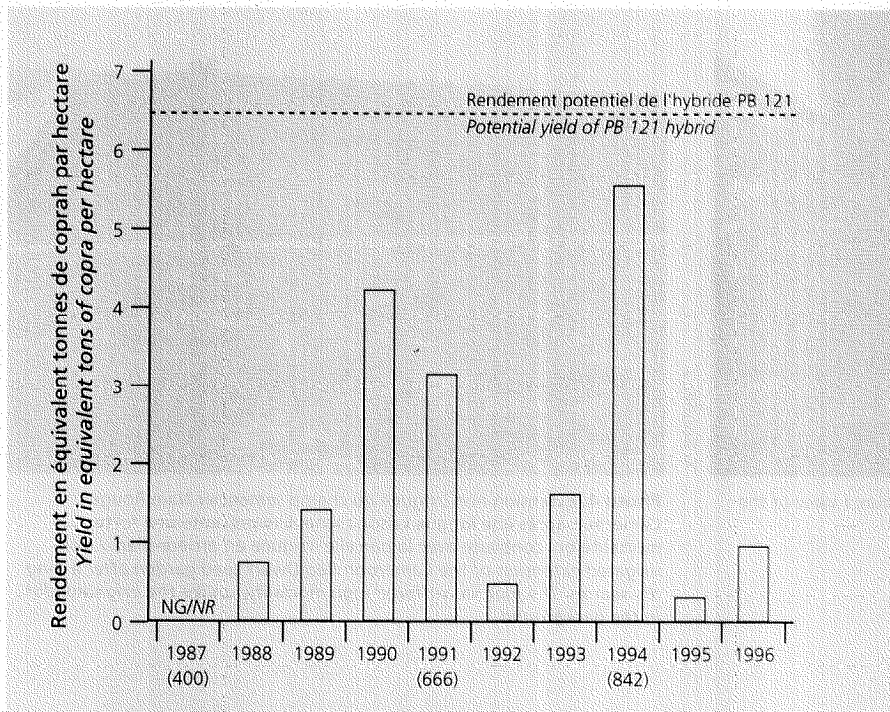
L'évapotranspiration d'une cocoteraie adulte à densité de plantation standard (150 à 200 palmiers par hectare) en conditions optimales est de l'ordre de 4 mm/jour, soit 250 à 300 litres d'eau par cocotier et par jour. Mais des apports d'eau inférieurs à la quantité théorique peuvent suffire à assurer de bons rendements (Daniel *et al.*, 1991). Quant à la dose de survie, elle est beaucoup plus faible, inférieure à 50 litres par cocotier et par jour (Keller *et al.*, 1992 ; Kulandaivelu, 1999 ; Mahesha *et al.*, 1992 ; Mathew *et al.*, 1996 ; Rajagopal *et al.*, 1989 ; Rao, 1989 ; Saseendran et Jayakumar, 1988). Les cocotiers sont capables de réduire leur transpiration et de s'adapter temporairement à des conditions d'alimentation hydrique limitante, sans aller jusqu'à des transformations irréversibles ; dès le retour des pluies, ils reprennent un fonctionnement normal.

Dans le cas de la compensation totale, l'apport journalier de fortes quantités d'eau doit être rentable. Il faut pour cela que le prix du produit justifie un lourd investissement dans le coût de production. Il faut aussi que le stress hydrique soit exclusivement dû ou presque à la sécheresse du sol ; on sait en effet que le cocotier est très sensible à la sécheresse atmosphérique, qui n'est pas toujours superposée à la sécheresse du sol.

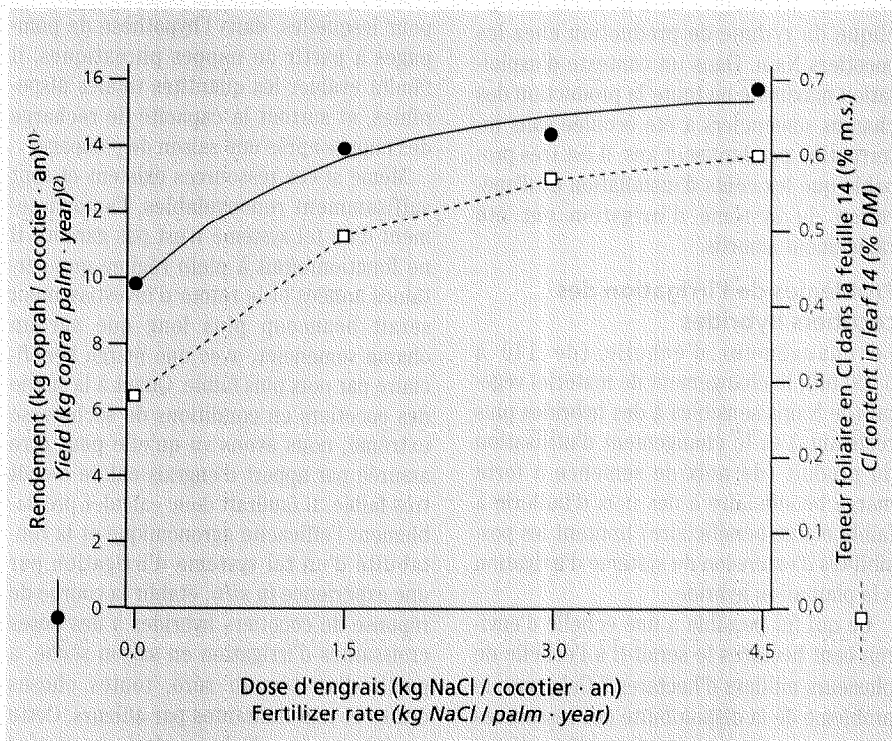
Pour optimiser les apports d'eau, il faudra aussi minimiser les pertes par évaporation, infiltration trop rapide, drainage latéral... Le système d'irrigation proposé — *sprinklers* (asperseurs), micro-asperseurs, goutte-à-goutte... — devra prendre en compte les contraintes du site.

Dans le cas de figure de la compensation partielle, l'irrigation sera indispensable à





**Figure 2.** Effet du stress hydrique sur le rendement annuel de cocotiers hybrides adultes (bloc A21, cocotiers plantés en novembre 1981). / Effect of water stress on the annual yield of adult hybrid coconut palms (block A21, palms planted in November 1981).  
NE : non enregistré / NR: not recorded  
( ) : valeur du déficit hydrique en année très sèche (mm) / value of water deficit during very dry years (mm)



certain moments, mais à fréquence plus espacée, hebdomadaire ou bimensuelle. Elle pourra être remplacée par des techniques éprouvées et plus économiques telles que la fertilisation chlorée. L'irrigation à l'eau saumâtre, technique très adaptée en zone lagunaire par exemple (Dias da Silva Junior, 1994 ; Pomier et Brunin, 1974), combine les deux techniques.

### Irrigation des champs semenciers à Gunung Batin

Un champ semencier a été planté en 1982 et 1983 et exploité entre 1985 et 1992. Il comprenait 112 hectares d'arbres-mères Nain Jaune Malaisie et 27 hectares d'arbres-mères Nain Rouge Cameroun (photo 3).

L'irrigation de ce champ semencier s'est avérée à la fois indispensable et très efficace. D'abord, il s'agit d'un matériel végétal très sensible au stress hydrique, pour lequel on ne peut pas admettre une perte de 30 à 60 % des arbres en une saison sèche (photo 4). De plus, la régularité de production doit être assurée : les commandes de semences arrivent tout au long de l'année, il est difficile de gérer un champ semencier dont la production s'interrompt pendant plusieurs mois consécutifs. Enfin, le prix de vente d'une noix de semence a été de 10 à 20 fois supérieur à celui d'une noix d'hybride pendant la période considérée :

**Figure 3.** Effet de la nutrition chlorée sur le rendement de cocotiers hybrides adultes (essai GB CC 03, moyenne de 8 campagnes). / Effect of chlorine nutrition on the yield of adult hybrid coconut palms (trial GB CC 03, mean of 8 seasons).

<sup>1</sup>Selon le nombre réel de cocotiers producteurs à l'hectare (effet cumulatif de la nutrition chlorée sur la mortalité pendant les longues saisons sèches) / According to the actual number of yielding palms per hectare (cumulative effect of Cl nutrition on mortality in long dry seasons)

<sup>2</sup>Equation de Mitscherlich, rendement  $y = f(\text{dose d'engrais } x)$  / Mitscherlich equation, yield  $y = f(\text{fertilizer rate } x)$

$$y = 15,5 - 5,84 \exp(-0,7095 x)$$

avec / where :

$$y_0 = 9,7 \\ y_{\text{lim}} = 15,5$$





**Photo 3.** Vue du champ semencier Nain Rouge Cameroun. / View of the Cameroon Red Dwarf seed garden.



**Photo 4.** Extension non irriguée du champ semencier Nain Rouge Cameroun après une longue saison sèche. Elle présente une forte mortalité qui contraste avec la parcelle irriguée en arrière-plan. / Non-irrigated extension of the Cameroon Red Dwarf seed garden after a long dry season. The plot has suffered high mortality, unlike the irrigated plot in the background.

à augmentation de production équivalente, l'irrigation est donc mieux payée sur un champ semencier que sur une parcelle d'hybride.

Le système d'irrigation, mis au point par la Seti (Société d'exploitation des techniques de l'irrigation) est appelé semi-mobile par *sprinklers*. Chaque unité comprend une partie fixe constituée par un forage profond avec une pompe immergée et un réseau de tuyaux métalliques, enterrés puis à la surface du sol, et une partie mobile formée d'un réseau de *sprinklers* reliés aux canalisations fixes par des tuyaux flexibles. Chaque *sprinkler* est déplacé 4 fois par jour, chaque position est occupée pendant 3 heures, à un débit théorique de 1,4 m<sup>3</sup>/h sur 175 m<sup>2</sup>, sous une pression théorique de 3,5 à 4 kg/cm<sup>2</sup>. Pendant ces 3 heures, le *sprinkler* délivre une hauteur d'eau équivalente à 24 mm dans sa surface d'action. Chaque unité d'irrigation est divisée en 6 sous-unités arrosées à tour de rôle sur un cycle de 6 jours. La quantité d'eau théorique reçue par unité de surface est donc de 4 mm/j. Le système d'irrigation fonctionne pendant la saison sèche de 2 à 4 mois, voire 5 mois consécutifs, selon sa durée.

En fait, les pressions et débits en fin de réseau n'étaient pas toujours égaux aux standards, ce qui fait que certaines zones du champ semencier, où sont apparus des symptômes de premier stade de stress hydrique, étaient moins bien irriguées que d'autres dans lesquelles aucun symptôme de stress hydrique n'a été observé. Mais la

survie des cocotiers n'a jamais été menacée, et la chute de production consécutive à une année très sèche a été limitée. Par exemple, après la saison sèche de 1987, la production moyenne s'est élevée à 80 noix/arbre en 1988, inférieure de 15 % seulement à celle de 1986 (94 noix/arbre).

Le bilan de l'irrigation des champs semenciers est donc très positif : pas de mortalité due à la sécheresse, et production aussi régulière que le permettent les fluctuations saisonnières dues au caractère cyclique du rythme de production chez les cocotiers Nain. Dans un contexte d'exploitation maximale où toute la production des champs semenciers a été écoulée sans interruption pendant sept ans, il est très probable que les coûts d'installation et d'opération du système d'irrigation ont été rapidement amortis.

### Problèmes de l'irrigation des cocotiers hybrides

Le changement d'échelle (de 140 à 6 000 ha), le changement de matériel végétal (de Nains sensibles à des hybrides plus résistants) et le changement d'utilisation du produit (de noix de semence à forte marge bénéficiaire à des noix d'huilerie à faible marge bénéficiaire) limitent les possibilités d'extension du système d'irrigation à la plantation hybride.

Ce qui fut possible à une échelle d'environ cent hectares le serait-il à l'échelle de plusieurs milliers d'hectares ? Cela pose le problème de la disponibilité des ressources en eau en saison sèche. Dans l'hypothèse

d'une irrigation équivalente à 4 mm/j sur 5 000 hectares pendant 3 mois consécutifs, les besoins en eau s'élèveraient à 18 millions de mètres cubes. Le préalable serait donc une étude hydrogéologique d'évaluation des ressources en eau locales et régionales : d'une part, des eaux de surface pour lesquelles, dans l'hypothèse d'un pompage à partir d'un fleuve voisin, il faudra prendre en compte un débit minimal et le coût du transport de l'eau jusqu'aux parcelles ; d'autre part, des eaux souterraines pour lesquelles, dans l'hypothèse de pompes à partir de nappes phréatiques, il faudra évaluer les quantités totales disponibles, et surtout la capacité de recharge des nappes après une saison de pompage.

Même si ces ressources existent et sont suffisamment renouvelables, l'amortissement d'un tel système n'est pas garanti. Il ne fonctionnerait à plein régime que certaines années et le retour d'investissement serait beaucoup plus long que sur un champ semencier, avec une marge bénéficiaire par noix plus faible. Quant à la survie des cocotiers en conditions de sécheresse extrême, nous avons vu qu'elle peut être assurée par apport d'engrais chloré à coût très faible. Il faudrait donc calculer préalablement l'efficacité agronomique et la rentabilité d'un tel système d'irrigation par une expérience *in situ*, établir la courbe de réponse de cocotiers hybrides à des doses croissantes d'irrigation en saison sèche, à partir d'un témoin zéro, toutes choses égales et non limitantes par ailleurs. Cette expérience devrait durer plusieurs années

pour intégrer une série d'événements climatiques que l'on sait très variables dans la région.

## Discussion et conclusion

En dehors de l'irrigation, dont nous avons vu les contraintes d'emploi, et de la fertilisation chlorée, très efficace pour amortir les effets de la sécheresse mais non pour les supprimer, il existe d'autres moyens de lutte contre le stress hydrique. Parmi ceux-ci l'apport d'engrais organique, le sous-solage, la densité de plantation, le choix de sols profonds. Ces techniques d'appoint permettent de gagner quelques millimètres de réserve d'eau du sol, voire quelques centimètres dans des endroits précis. Mais elles ne peuvent pas, à elles seules, compenser un stress hydrique sévère.

La culture du cocotier en grandes plantations est-elle possible et rentable dans le

Lampung central ? Si l'on suppose que le contexte climatique actuel – incidence relativement fréquente (2 à 3 fois par décennie) de longues saisons sèches consécutives au phénomène «El Niño» – se maintiendra pendant quelques décennies, ne vaut-il pas mieux abandonner une culture pérenne telle que le cocotier et planter des cultures annuelles comme le manioc ou le maïs, traditionnels dans la région ?

Dans le cadre d'une vente de produits à faible valeur ajoutée – noix fraîche ou coprah sur le marché local – la réponse est évidente : l'investissement serait trop risqué à l'échelle agro-industrielle. Mais s'il y a écoulement de produits à forte valeur ajoutée sur un marché porteur, à l'exportation ou sur la mégapole de Jakarta, la question mérite réflexion. Un système de culture à base de cocotier, avec une densité

de cocotiers légèrement réduite – interligne élargi pour laisser place à des cultures intercalaires pendant les périodes improductives des cocotiers – pourrait être viable. Les cocotiers seraient fortement fertilisés en chlore (Bonneau *et al.*, 1997) et une irrigation à dose réduite bien ajustée à certains moments clés pourrait être envisagée, selon la marge obtenue sur les produits, la disponibilité des ressources en eau et la réponse des cocotiers. L'effet des sécheresses serait alors amorti, sans pouvoir garantir toutefois qu'il n'y aurait pas d'interruption de la récolte de noix. L'élargissement de l'interligne laisserait alors la possibilité de cultiver un ou deux cycles de cultures annuelles intercalaires pour compenser l'arrêt de production des noix pendant quelques mois. ■

## Bibliographie / References

- BONNEAU X., 1998. Recherches sur les facteurs limitant la production végétale en conditions de stress hydrique. Cas du cocotier à Gunung Batin (Indonésie) : rôles du chlore dans l'économie de l'eau. Thèse de doctorat, Ina-PG, Paris, France, p. 13, 21-23.
- BONNEAU X., BOUTIN D., BOURGOING R., SUGARIANTO J., 1997. Le chlorure de sodium : fertilisant idéal du cocotier en Indonésie. *Plant. Rech. Dév.* 4 (5) : 336-346.
- DANIEL C., ADJE I., VIHOUNDJIE F., 1991. Comportement des cocotiers hybrides Nain x Grand en climat sec et sous irrigation d'appoint. *Oléagineux* 46 (1) : 13-21.
- DIAS DA SILVA JUNIOR, 1994. Effets du déficit hydrique et de l'irrigation avec l'eau de mer diluée sur le comportement physiologique des plants de cocotier (*Cocos nucifera* L.) Grand du Brésil en conditions naturelles. Thèse de doctorat, université Paris VII, France, p. 23-28, 35, 90.
- KELLER J., SIVANAPPAN R.K., VARADAN K.M., 1992. Design logic for deficit drip irrigation of coconut trees. *Irrig. Drain. System* 6 : 1-7.
- KULANDAIVELU, 1999. Crop water requirements for coconut through drip system. X International congress on the use of plastics in agriculture.
- MAHESHA A., ABDUL KHADER K. B., RANGANNA G., 1992. Consumptive use and irrigation requirement of coconut (*Cocos nucifera*) in coastal sandy soils. *Indian J. Agric. Sci.* 62 (1) : 13-15.
- MATHEW J., PILLAI G R., SANTHAKUMARI G., KURUVILLA V., 1996. Irrigation management on yield stabilization and annual productivity of coconut. *J. Trop. Agric.* 34 : 33-35.
- POMIER M., BRUNIN C., 1974. Irrigation des cocotiers à l'eau salée. *Oléagineux* 39 (4) : 183-188.
- RAJAGOPAL V., RAMADASAN A., KASTURIBAI K.V., BALASIMBA D., 1989. Influence of irrigation on leaf water relations and dry matter production in coconut palms. *Irrig. Sci.* 10 : 73-81.
- RAJAGOPAL V., KASTURIBAI K.V., VOLETI R., 1990. Screening of coconut genotypes for drought tolerance. *Oléagineux* 45 (5) : 215-223.
- RAO A.S., 1989. Water requirements of young coconut palms in a humid tropical climate. *Irrig. Sci.* 10 : 249-254.
- REPELLIN A., DANIEL C., ZUIDY-FODIL Y., 1994. Intérêt des tests physiologiques dans la caractérisation du comportement de différentes variétés de cocotier soumis à la sécheresse. *Oléagineux* 49 (4) : 155-168.
- SASEENDRAN S.A., JAYAKUMAR M., 1988. Consumptive use and irrigation requirements of coconut plantations in Kerala. *J. Plant. Crops* 16 (2) : 119-125.



# Coconut growing in zones at risk of drought

Bonneau X.<sup>1</sup>, Subagio K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIRAD, TA 80 / 01, avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup>P.T. Multi Agritama Sejahtera, Jl. Ir. H. Juanda III / 11 A, Jakarta, Indonesia

A zone is said to be marginal for a given crop when yields are significantly limited on a permanent basis or if the crop is likely to be exposed to lethal risks. There are different types of marginal zones for coconut growing, linked to climatic, soil, phytosanitary, economic and social factors. We intend to look at the risk of drought, which is affecting more and more zones in the humid tropical belt (Bonneau, 1998). The marginality of a zone is defined by the coconut palm survival rate, consistency of production and the quantities produced.

What are the chances of a coconut plantation surviving for an economic life span (at least 30 to 40 years with hybrids) at a given site? In other words, what is the acceptable cumulated mortality threshold? In estate plantings, a 5 to 10% mortality rate cumulated over the life span could be accepted. First and second-year replacements are considered a normal part of plantation setup.

Regular supplies to the mill are crucial in estate plantings which have often invested heavily in post-harvest processing units. In this case, it is better for production to be limited but relatively stable in time, rather than fluctuating, with peaks during which processing capacity may be saturated and slack periods when the mill will only be ticking over or even completely shut down.

Lastly, in project profitability calculations, agronomists trace the curve for yield trends depending on palm age under local conditions. The more is known about yield factors and the more stable they are, the more accurate the curve will be. However, it is often just as important to estimate yield fluctuations around a mean as the mean itself.

The example given here shows how the risk of drought was taken into account in a coconut estate in Lampung province, Indonesia.

## Site

### Location

The Gunung Batin plantation, belonging to Multi-Agro-Corporation, is located in Central Lampung, at the southern tip of Sumatra island

(map). It is 75 km from the Java Sea, and therefore does not benefit from the chlorine that would be supplied by sea breezes. On average, the estate is 30 m above sea level, on a peneplain crossed by permanent rivers and temporary streams in shallow thalwegs. It covers 6 000 ha, primarily planted with Dwarf x Tall hybrids. The first section was planted between 1982 and 1984, and another between 1988 and 1990.

### Soils

The soil is a ferralitic type loamy sand with a podzolic tendency. Its characteristics are given in table 1. At a depth of around a metre, there is a highly indurated horizon, known as hardpan, which is around three metres thick. The hardpan prevents virtually all coconut root penetration deep down and, during the dry season, it blocks capillary rise from the water table located at a depth of around six metres.

The soil water reserve is limited to around 100 mm by the hardpan, and is not renewable by capillarity. The soil is therefore highly susceptible to drought: as soon as the rains stop, the easily usable part of the reserve is consumed (in around three weeks) and water extraction from the soil becomes a limiting factor for coconut palm functioning.

### Climate

The climate is split into two seasons: a wet season (monsoon) from November to April, with a peak between December and March, and a dry season from May to October. On average, rainfall amounts to 2 300 mm per year, with 570 mm (25% of the total) during the six months of the dry season (mean data from 1988 to 1997).

However, the intensity of the dry season varies considerably from one year to another, as shown in table 2. Some years, the water deficit is nil to very low, whereas in others it is extremely severe.

If PET is potential evapotranspiration in millimetres, measured in a class A pan, and R is rainfall in millimetres, measured with a pluviometer, months in which PET is higher than R are considered dry, and those in which PET is over P + 50 very dry. Six consecutive dry months, of which five were very dry, were recorded in 1991, seven consecutive very dry months in 1994 and eight consecutive dry months, of which six were very dry, in 1997. The

corresponding cumulated water deficits were 666, 842 and 822 mm respectively.

The pedoclimatic context at the site is therefore highly susceptible to water stress, given the low water reserve of the soil and the frequent recurrence of long dry seasons.

## Effects of water stress on coconut palms

The visible symptoms of water stress on coconut palms have already been described (Bonneau, 1998). Generalized plasmolysis of the leaf tissues is followed by premature drying out of the lower leaves, very characteristic folding of the leaves at the petiole "spreading from the lower to the upper leaves", immature nut fall and, as the ultimate stage, folding of the stem in its upper section, causing what remains of the leaf crown to topple (photos 1 and 2).

Water stress affects coconut palm survival, yield regularity and mean yields.

### Effect on coconut palm survival

Three main factors for survival during long dry periods have been identified at Gunung Batin.

#### Age

All other things being equal, the most susceptible stage for hybrids is between four and six years, probably due to a temporary imbalance between aerial and underground parts.

Very young hybrids have a leaf area index that is still low: their transpiration demand is therefore also low, within the limits of the root system's ability to provide the water required.

Adult hybrids are in a stationary state: a stable leaf crown in terms of size and shape, consistently loaded bunches, a well extended root system and, most of all, a stem several metres high that can function as an internal water flow regulator.

On the other hand, hybrids that have just started bearing have unbalanced organ distribution: the root system has yet to reach its maximum extension, the stem is emerging but has yet to account for a large share of total biomass, whereas the leaf crown is already its ultimate shape and the bunches are becoming loaded with nuts. The transpiration demand of the aerial organs is already maximum and too high, compared to the capacity of the root system and the stem, when water supplies are becoming marginal.

The contents of this article were covered by a paper presented at the XXXVI Cocotech Meeting, Phuket, Thailand, 21-25 June 1999.



### Planting material

All other things being equal, Dwarf material is much more susceptible to water stress than Tall and Dwarf x Tall materials. The observations at Gunung Batin therefore confirmed numerous observations carried out at various sites (Rajagopal *et al.*, 1990; Repellin, 1994).

In genetic trial GB GC 02 planted in March 1988, comparing two Dwarf x Tall hybrids (PB 121 and PB 113) and a Dwarf x Dwarf hybrid (PB 324), the mortality rate at the end of the 1991 dry season was 35% for PB 324 and 0% for PB 121 and PB 113.

We also saw in commercial plantings that well maintained and well fertilized adult hybrids had a mortality rate of 0 to 5% during the long dry seasons, while Dwarf coconut palms had a much higher death rate under comparable upkeep and fertilization conditions. In non-irrigated extensions of the seed garden, we recorded 30% mortality among four-year-old Malayan Yellow Dwarfs and 62% among four year-old Cameroon Red Dwarfs in 1991.

### Mineral nutrition

Chlorine plays a determining role in coconut palm resistance to severe water stress. Figure 1 shows how good chlorine nutrition significantly puts off the mortality threshold in a period of prolonged water stress.

Hybrid coconut palms that were not given chlorine, with a chlorine content of 0.25 to 0.30% in leaf 14, incurred a mortality rate of 20 to 30%, whilst palms with a content of 0.6 to 0.7% Cl in leaf 14 following chlorine fertilization had a mortality rate limited to around 1%.

The same trend recurred identically in 1991 and 1994.

### Effect on yield regularity

After mortality, the most harmful effect of water stress is a long interruption in production for several months. During long droughts, immature nuts fall and the lower leaves dry out. When rainfall resumes, the coconut palm crowns are much smaller and they have no bunches at all. The following period is therefore used to reconstitute the leaf crown and emit new inflorescences. This takes several months, and it therefore takes another year before the first ripe nuts are harvested. For instance, at Gunung Batin after a long drought in 1994, it took 12 months for the foliage to return to its stationary state (Mialet-Serra, pers. comm.), and at least 18 months before the first nuts could be harvested.

Chlorine plays a significant role in coconut palm resistance to defoliation during water stress and in their speed of recovery after stress. Table 3 shows that coconut defoliation at the end of the dry season is limited by good chlorine nutrition. We also noted an earlier resumption

in yields in coconut palms with good chlorine nutrition in all the chlorine nutrition trials. Harvesting generally resumed two to three months earlier than in palms with a chlorine deficiency.

However, even coconut palms with good chlorine nutrition cannot escape a long period without yields. This lack of production for around a year and a half is highly detrimental to agroindustrial complexes, whose profitability thus depends on how frequently such dry seasons occur. Table 4 shows the effects of long dry seasons on processing unit shutdown time.

A calculation based on the true costs of investment and processing unit operations—in this case an oil mill—would help in specifying the maximum acceptable frequency of long dry seasons. Nevertheless, it is clear that the frequency of one dry year in three, as seen in the 1990s, which annihilated the harvest for half of the time, is excessive. The acceptable limit should be around a frequency of one dry year in five, with a maximum of 30% of the time without yields.

### Effect on mean production

In the year following two years of evenly distributed rainfall, the production of coconut hybrids reaches very good levels: yields of over 5 t of copra per hectare per year have been obtained in the best plots of the plantation, as shown in figure 2. On the other hand, yields in the year following a very dry year are very low, and production resumes in the second year following the drought.

Water stress is therefore clearly the main limiting factor at Gunung Batin. Chlorine has a positive effect on all yield components, particularly in the event of intense water stress, notably by limiting mortality at the end of a long dry season.

Figure 3 shows the effect of chlorine nutrition on smoothed mean production for an eight-year period comprising a succession of wet and dry years. Even with good chlorine nutrition, production is limited to 15.5 kg of copra per palm per year, well below the potential of hybrid PB 121: around 35 to 40 kg.

### Irrigation

#### Coconut palm requirements

Coconut plantings can be irrigated in two ways:

- either by total compensation of evapotranspiration, so as to maintain yields at their maximum level throughout the year;
- or by partial compensation of evapotranspiration to alleviate the most severe effects of drought, ie avoiding defoliation and ensuring survival under extreme conditions.

Evapotranspiration in an adult coconut plantation at standard planting density (150 to

200 palms per hectare), under optimum conditions, amounts to around 4 mm/day, equivalent to 250 to 300 l of water per coconut palm per day. However, water supplies of below the theoretical quantity can be enough to ensure good yields (Daniel *et al.*, 1991). Coconut palm survival rates, for their part, are much lower, at under 50 l of water per coconut palm per day (Keller *et al.*, 1992; Kulandaivelu, 1999; Mahesha *et al.*, 1992; Mathew *et al.*, 1996; Rajagopal *et al.*, 1989; Rao, 1989; Saseendran and Jayakumar, 1988). Coconut palms are able to reduce their transpiration and adapt to limiting water supply conditions, without changing irreversibly: once the rains resume, they return to normal.

In the case of total compensation, applying large quantities of water daily has to be cost-effective, hence product prices have to justify investment in production costs. The water stress must also be exclusively, or very largely, due to the drying out of the soil. In fact, coconut is also highly susceptible to atmospheric drought, which is not always combined with dry soils.

To optimize water supplies, care must also be taken to minimize losses through evaporation, over-rapid infiltration or lateral drainage. The irrigation system chosen—sprinklers, micro-sprayers, drip system, etc—thus has to take account of the constraints of the site.

In the case of partial compensation, irrigation is essential at times, but less frequently: weekly or fortnightly. It can be replaced by techniques that are less expensive but just as efficient, such as applying chlorine fertilizer. Irrigating with saline water, in a lagoon area for example (Dias da Silva Junior, 1994; Pomier et Brunin, 1974), combines the two techniques.

### Irrigation of the Gunung Batin seed garden

The commercial seed garden was planted in 1982 and 1983 and used from 1985 to 1992. It comprised 112 ha of Malayan Yellow Dwarf mother trees and 27 ha of Cameroon Red Dwarf mother trees (photo 3).

Irrigating the seed garden proved to be both essential and highly effective. Firstly, the planting material is highly susceptible to water stress: losing 30 to 60% of palms in a single season is unacceptable (photo 4). Production regularity is also essential, as seednut orders arrive all year round, and it is difficult to manage a seed garden in which production stops for several months. Lastly, seednuts fetched 10 to 20 times more than hybrid nuts over the study period: for a similar increase in yields, irrigation is thus more cost-effective in seed gardens than in hybrid plantings.

The irrigation system developed by the SETI company (Société d'exploitation des techniques



de l'irrigation) is a semi-mobile sprinkler system. Each unit comprises a fixed section: a tubewell with a submerged pump and a network of metal piping, both buried and on the soil surface, and a mobile section: a network of sprinklers connected to the piping by flexible hoses. Each sprinkler is moved four times a day, leaving it in position for three hours, with a theoretical flow rate of 1.4 m<sup>3</sup>/h over 175 m<sup>2</sup>, at a theoretical pressure of 3.5 to 4 kg/cm<sup>2</sup>. For those three hours, the sprinkler supplies the equivalent of 24 mm of water over the range covered. Each irrigation unit is divided into six sub-units watered in turn over a six-day cycle. The theoretical amount applied is thus equivalent to 4 mm/day. The system operates throughout the dry season, ie two to four or even five months depending on the years.

In fact, the discharge and pressure supplied by the submerged pumps were not always up to the required standards, so that some zones in the seed garden, where symptoms of the first stage of water stress were seen, were not so well irrigated as others, which did not show any symptoms of water stress. Nevertheless, the survival of the coconut palms was never in jeopardy, and the drop in production for the year following a drought was limited. For instance, after the 1987 dry season, average yields in 1988 amounted to 80 nuts per palm, just 15% down on the 1986 figure (94 nuts per palm).

The result of seed garden irrigation is thus very positive: no mortality due to drought, and production as regular as the seasonal fluctuations linked to the cyclic nature of the production rhythm in Dwarf coconut palms allowed. In a context of maximum exploitation where the entire production from the seed garden was disposed of without interruption for seven years, the cost of installing and operating the irrigation system was probably rapidly recouped.

### Problems with irrigation on hybrid coconut palms

Changes in scale (from 140 to 6 000 ha), in planting material (from susceptible Dwarfs to more resistant hybrids) and in product utilization (from seednuts with a high profit margin to processing nuts with a low margin) limit the possibility of extending irrigation to the hybrid plantation.

Would what was possible on the scale of a hundred or so hectares still be possible on a scale of several thousand? The question is whether enough water would be available in the dry season. Applying 4 mm/day on 5 000 ha for three consecutive months would take a total of 18 million cubic metres of water. A hydrological study to assess local and regional water resources would thus be necessary beforehand: surface water resources for which, were they to be pumped from a nearby river, the minimum flow and cost of conveying the water to the plots would have to be taken into account; and underground water supplies for which, in the event of pumping from the water tables, the total available resources, and above all the water table restoration capacity after the dry season would have to be taken into account.

Even if the resources exist and are sufficiently renewable, the amortization of such a system is not guaranteed, since it would only operate fully some years, and the return on the initial investment, with a lower profit margin per nut, would take much longer than in a seed garden. We have seen that coconut palm survival in the event of severe drought can be guaranteed by applying chlorine fertilizers, at very low cost. It is thus important to calculate the agronomic efficiency and profitability of such irrigation systems through an *in situ* trial, establishing the curve for hybrid coconut palm response to increasing irrigation rates in the dry season compared to a control without irrigation, all other things being equal and in the absence of other limiting factors. The trial would have to last for several years so as to include a series of climatic variations, which are known to be substantial in the region.

### Discussion and conclusion

In addition to irrigation, whose operating constraints we have seen, and chlorine applications, which are very effective in alleviating the effects of drought but which cannot totally overcome them, there are also other ways of controlling the effects of water stress. They include applying organic fertilizers, subsoiling, planting density and using deep soils. These additional methods can help to gain a few millimetres of soil water reserves, or even a few centimetres in specific places, but are not enough in isolation to compensate for severe water stress.

Is growing coconut on large estates possible and profitable in Central Lampung? Assuming that the current climatic situation—relatively frequent long dry periods (two to three a decade) due to the El Niño phenomenon—were to continue for a few decades, would it not be better to abandon tree crops such as coconut in favour of annual crops such as cassava and maize, which are traditionally grown in the region?

In the event of selling low added-value products—fresh nuts or copra on the local market—the answer goes without saying: the investment would be too risky on an agroindustrial scale. However, if high added-value products are sold on a profitable market, for instance exported or sold in Jakarta, the issue is worth thinking about. A coconut-based farming system with a slightly reduced coconut palm planting density—wider interrows to leave room for intercrops until the palms mature—could be viable. The palms would be given high chlorine rates (Bonneau *et al.*, 1997), and limited, appropriate irrigation at certain times could be considered, depending on product profit margins, water availability and coconut palm responses. The effects of drought would thus be alleviated, although there would be no guarantee that nut harvests would not be interrupted at all. Widening the interrows would enable one or two cycles of annual intercrops to compensate for a gap of a few months in nut production. ■